

土地利用と農業生産から見た 環境効率性評価に関する研究

福田篤史¹・中村英佑²・園田益史³・森杉雅史⁴・井村秀文⁵

¹正会員 名古屋市職員 (〒460-8508 名古屋市中区三の丸3-1-1)

²学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

³学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

⁴正会員 工博 名古屋大学助手 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

⁵正会員 工博 名古屋大学教授 環境学研究科都市環境学専攻 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

各国は農産物取引を通じて互いの農地に依存している。依存の度合いを定量化すること自体、各国の持続可能性を知る上で有意義であるが、依存関係の在り方について論じることも重要であり、そのためには各地の農業生産性を定量化し、吟味する必要がある。本研究では、包絡分析法(DEA)を用いることで各国農業の生産効率を分析し、そこから見た農産物取引の評価を行う。また、上述の方法に加え従来型の計量経済学的手法も併せて、気象条件や農地価格と生産効率との因果関係についても調べ、農業生産の非効率の原因について考察する。

Key Words : Ecological Footprint (EF), DEA(Data Envelopment Analysis), Marginal Productivity

1. 序論

今日までの我々の社会経済活動は、地球上の資源を徐々に減少させ、自然の浄化能力を超えた環境汚染を顕在化させてきた。中でもエネルギー消費増大に伴う化石燃料の枯渇、CO₂の過剰排出等の問題は、持続可能な発展という観点から関心度が高い。一方で土地資源についても、森林減少や砂漠化に代表されるように、生産力の低下が問題となっている。森林、農地等の土地資源は、生産物の供給以外にCO₂固定、水源涵養機能等、多機能的に我々の生活に恩恵を与えており、これらを保護していく必要がある。また農業生産は、食糧供給の面からも重要であるが、化学肥料や農業機械の投入によって土壌質が低下するなど、その利用のあり方が問われている。

土地資源の利用面積によって人間生活の持続可能性を評価する指標の1つに、エコロジカルフットプリント (Ecological Footprint : EF) がある。これは、「ある地域における現状の生活を維持するために、地域内外で必要となる土地資源面積」と定義される。これま

での推計では、概ね先進国では 4ha/cap (1人当たりヘクタール) 以上、途上国では 1ha/cap 未満²⁾という結果が得られており、世界の土地資源の利用には偏りがあることが指摘されている。

またこうした流れを受け、国際貿易を通じた国外土地資源への依存面積を算出する試みがなされている。芥川ら³⁾は、日本の農産物輸入に伴い国外で間接的に必要な土地資源面積、水資源、化学肥料を定量化している。また、筆者ら³⁾は、産業連関分析を用いることで日本のEFを算出するとともに、日本、アメリカ、EU、アジア間における農地の相互依存関係を定量化した。この結果、日本は特にアメリカ、アジアの農地に大きく依存することが示されている。この結果は取引量と共に、各国農業の単位生産当たり土地資源利用面積(原単位)に基づいている。すなわちEFは、原単位の大きな国から輸入すれば大きくなり、原単位の小さな国から輸入すれば小さくなる。しかしながら、農業生産には土地資源の他にも労働、機械、肥料などの生産要素が投入されているため、農地投入量単体でその使用実態を評価することは一般に適切とはいえない

い。EF 指標に実用性を持たせるためには、各地域の実情に基づき、土地生産性など質的な議論を加える必要がある。

以上のことを踏まえ、本研究では、農産物取引を通じての土地資源への相互依存関係について、農業生産性から見た評価を行うことを目的とする。またその中で、気象条件が農業生産性に与える影響や、土地の生産性と農地価格との関係についても分析し、資源をより効率的に利用するための施策について考察する。なお、効率性を評価するための手法には、企業等の経営効率分析に用いられる DEA (Data Envelopment Analysis: 包絡分析法) という手法を取り入れる。

2. 農産物取引と土地資源への相互依存

(1) 産業連関分析による EF の定量化

ここでは農作物取引に伴う土地資源への相互依存関係の現状を把握するため、産業連関分析を用いた定量化を行う。データとしてはアジア経済研究所発行のアジア国際産業連関表 (1995 年) ⁴⁾を用いる。この表は図-1 に示すような非競争輸入型で、10 か国 (インドネシア、マレーシア、フィリピン、シンガポール、タイ、中国、台湾、韓国、日本、アメリカ) 24 産業の財、サービスの取引額が明示される (ROW は Rest Of World を表す)。

まず、次の均衡産出高モデル ⁵⁾によって、ある国における全産業での最終需要を満たすために、各国で必要となる農業生産額を求める。

$$X = (I - A)^{-1}F \quad (1)$$

X : 生産誘発額ベクトル

I : 単位行列

A : 投入係数行列

F : 最終需要ベクトル

次にこの値に各国農業の単位生産額当たり農地利用面

積 (原単位) を乗じることで EF を求める。各国の農地面積データは FAOSTAT⁶⁾より得た。結果を表-1 に示す。値の大きなものには網をかけ表示する。日本について見ると、タイ、中国、アメリカの農地に対して大きく依存していることが分かる。特に中国、アメリカとを合わせるとその値は 3000 万 ha 近くとなり、これは日本の農地面積全体の 5 倍以上に相当する。また対象国全体についても、タイ、中国、アメリカへの依存が大きい。

(2) 要素比率と交易との関係

各国間の取引を説明するには様々な考え方があがあるが、ここでは伝統的な交易理論であり、国別の賦存資源の差に着目したヘクシャー＝オリー理論 ⁷⁾を取り上げる。同理論に従えば、土地資源の投入を多く必要とする農業生産については、相対的に土地資源が豊富な国が農産物を輸出することが予想される。

ここでは本質的な生産要素として土地、労働を考え、各国の土地資源面積を労働人口で除すことで、生産要素における土地資源相対的な豊富さを各国間で比較した。結果は表-2 中で、要素賦存比率として示してある。アメリカは労働に対する土地資源の賦存量が特に豊富であり、シンガポール、台湾、韓国、日本などは相対的に労働が豊富な国となる。また、各国間での農



図-1 国際産業連関表の概要

表-1 各国農地への相互依存関係 (ha)

	需要国									
	インドネシア	マレーシア	フィリピン	シンガポール	タイ	中国	台湾	韓国	日本	アメリカ
生産国	インドネシア	88,372	35,816	115,513	24,509	109,238	41,597	80,538	619,389	384,036
	マレーシア	42,988	75,365	180,618	21,586	226,749	28,912	54,194	171,848	115,018
	フィリピン	9,611	7,956	3,284	3,230	12,972	5,720	36,281	171,744	315,786
	シンガポール	4	28	7	10	7	3	2	103	40
	タイ	185,049	165,905	89,901	144,836	386,898	152,741	139,143	1,519,585	1,020,042
	中国	599,965	474,973	186,468	519,827	391,201	344,518	1,874,519	13,584,837	6,666,807
	台湾	1,463	1,519	1,852	1,505	2,273	2,394	2,438	67,058	8,426
	韓国	1,717	1,037	458	980	1,644	2,400		31,094	14,401
	日本	1,486	2,190	853	1,665	3,103	5,467	5,383		19,524
	アメリカ	957,613	501,805	709,178	200,088	502,495	2,728,130	2,954,795	15,449,761	
計	1,799,897	1,243,786	1,099,897	1,168,316	950,051	3,477,986	3,344,442	5,147,294	31,615,419	8,544,078

表-2 要素比率と交易との関係（農作物）

(100万US\$)

農産物	要素賦存 比率 (ha/人)	輸入国									
		インド ネシア	マレー シア	フィリ ピン	シンガ ポール	タイ	中国	台湾	韓国	日本	アメリカ
輸出 国	インドネシア	1.99	75	14	117			9	33	145	
	マレーシア	3.95		15	79				10	19	
	フィリピン	1.08							24	19	
	シンガポール	0.0347		0						12	
	タイ	1.49	1	36	3	70	4	34	4	100	
	中国	1.30	60	95	6	98		5	314	615	
	台湾	0.389		4	7	11			12	128	
	韓国	0.453				3				32	
	日本	0.550									
	アメリカ	6.71	373	245	33	33	137	1265	1292	17	458

表-3 要素比率と交易との関係（工業製品）

(100万US\$)

工業製品	要素賦存 比率 (ha/人)	輸入国									
		インド ネシア	マレー シア	フィリ ピン	シンガ ポール	タイ	中国	台湾	韓国	日本	アメリカ
輸出 国	インドネシア	1.99	19	47							1891
	マレーシア	3.95		45		426	819				6577
	フィリピン	1.08	286	133							242
	シンガポール	0.0347		388			697	33			7493
	タイ	1.49	136		22	15					3335
	中国	1.30	72		379	373					9953
	台湾	0.389	642	978	178	176	2139				8331
	韓国	0.453	962	919	700	2333	1619	3977	179		1551
	日本	0.550	2559	11356	285	1652	9444	194	14779	12692	58815
	アメリカ	6.71									

産物取引についても同表に示す。表中の値は、産業連関表における各国間での輸出額から輸入額を差し引いたものである。比較のため、工業製品の各国間取引についても表-3に示した。農産物についてみると、アメリカが圧倒的に輸出大国であり、日本や韓国、シンガポールなどが輸入超過国となっている。一方、工業製品の取引では、逆にアメリカが輸入大国となり、日本や韓国が輸出超過国となっている。近年では第3次産業の占める割合が大きいため、貿易の仕組みも複雑化しているが、表-2、表-3からは典型的な国際分業の形態が読み取れる。

次に要素賦存比率と交易とを照らし合わせて考えると、相対的に土地が豊富な国々が農産物を輸出超過となる傾向があり、逆に、労働が豊富な日本や韓国、シンガポールなどは工業について輸出超過となる。マレーシアについては相対的に土地豊富国の部類に入るが、典型的な農産物輸出国とはならない。これは、総面積の70%弱が森林であり、実際に産業活動に投入されている面積が少ないことや、ルックイーストに代表される工業化政策などの影響から、資源の賦存比率を反映した産業構造にはならなかったことが考えられる。しかしながら全体的に各国間交易の在り方は、上述の理論帰結が示すように要素賦存比率によって説明され、よって農産物取引に伴う土地資源への相互依存の在り方もこの影響を大きく受けていることが分かる。

3. 農業生産性と農産物取引との関係

農業生産は土壌や気象など自然条件の影響を大きく受ける。国が異なれば、土壌も気象も異なることから、自然条件による農業生産性の違いがあつてしかるべきである。各国は農産物取引を通じて農業生産に投入される土地、エネルギーなどの資源を間接的に利用しているが、生産性の高い国が多くを生産し、他国へ輸出することが国際分業の形態、資源節約性の観点から望ましいことは論を待たない。そこで本章では、様々な角度から農業生産性を捉え、現状の農産物取引との関係を調べる。

(1) 各国農業生産の環境効率

農業生産に投入される資源として土地とエネルギーとを考える。各国農業の単位生産あたり土地資源投入量、エネルギー投入量を図-2、図-3に示す。値が少ない方が資源を効率的に活用しており、したがって環境効率的であると言える。まず土地について見てみると、シンガポール、台湾、韓国、日本における土地の投入量が少なく、アメリカ、中国、マレーシアでは同じ生産を行うにも多くの土地資源を利用している。これは土地資源の賦存量によるところが大きい。一般的に生産要素間に代替の関係があるとされことから、土地資源の豊富な国は農地をふんだんに使い、土地資源の少ない国々は、他の生産要素によって生産量をカバー

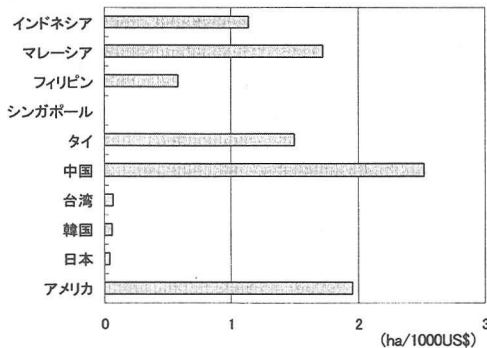


図-2 各国農業における単位生産当たり農地利用面積

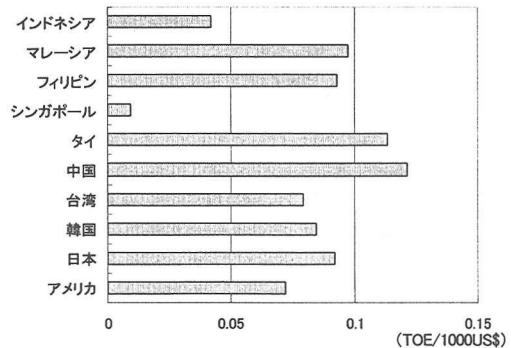


図-3 各国農業における単位生産当たりエネルギー投入量

していると考えられる。

次にエネルギーについて見てみると、シンガポール、インドネシアなどで効率が低く、タイ、中国などで低くなっている。また、日本とアメリカとを比較すると、アメリカのほうが効率的となっているが、これは資本集約型大規模農業の効率性が現れていると言える。土地資源での結果とエネルギーでの結果とを比べると、前者の方が各国間で格差が大きい。さらに、ここでの結果と表-2 に示した農産物の取引とを照らし合わせてみると、特に土地資源に関して、農産物輸出国の効率性の低さが目立つ。このことは、資源消費を拡大する方向で取引が行われていることを示しており、望ましい結果とは言えない。

しかしながら、先にも述べたように土地資源の投入に対して効率的であっても、その他の生産要素を代わりに多く投入している可能性もある。逆に言えば、考えられるあらゆる生産要素を考慮できれば、真の非効率性を求めることができる。以下では、複数の生産要素を考慮した効率性を評価するため、包絡分析法(DEA)を用いた分析を行う。

(2) DEA(Data Envelopment Analysis: 包絡分析法)⁹⁾

DEA は、比率尺度によって事業体の効率性を相对比较する手法である。同種の投入要素と産出物を持つ複数の事業体のうち、より少ない投入でより大きな産出をしているものが、より高い生産性を示していると考えられる。

2 入力、1 出力の例を考える。図-4 は、入力 1/出力 (X_1/Y)、入力 2/出力 (X_2/Y) を座標軸として各事業体をプロットしたものである。ここで、より少ない入力で所与の出力を出している事業体に着目すると、B,C,H がピックアップされる。これらの点間を線で結んでやると、A や G は B,C に対して効率が低く、また D や E は B,H に対して効率が低いことがわかる。

さらに H から水平に延びる線と、C から垂直に立つ線までを考慮すると、全てのデータはこの線で包まれる。DEA では、この線を効率的フロンティアと呼ぶ。フロンティア上の点の効率性を 1 とし、それ以外の事業体の効率性は、フロンティア線をもとに決定する。例えば事業体 A の場合、原点と点 A を結ぶ線がフロンティア線 BC と交わる点を I とすると、OI/OA として A の効率性を定める。

多入力・多出力となった場合には、次元が増えるため、図-4 のように平面上で表せず、効率性の優劣について視覚的にとらえることが困難である。そこで、各項目に重みをかけて加え、その上で(仮想的総出力) / (仮想的総入力) の比によって効率性を比較する。ここで、入出力の重み付けは事業体ごとに異なってもよいものとする。

生産要素の投入量と産出物の生産量との関係を表すものとして、生産関数がしばしば用いられるが、生産関数の推計には多くのサンプルが必要になる上、サンプル間の総合的な優劣を比較することはできない。この点 DEA は、少ないサンプルで事業体間での相对比较を行えることから、今回のように対象が少ない場合であっても、生産関数分析とは異なるアプローチが可能である。また同時に異なる単位を持つ複数の投入要

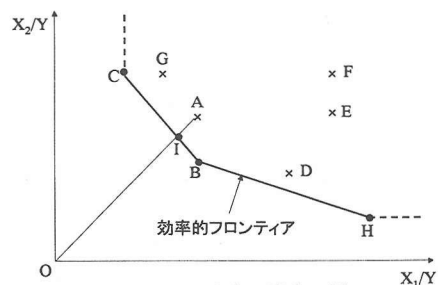


図-4 2 入力 1 出力の例

素を同時に考慮できることも DEA の強みであり、その特徴を活かすためにもデータ選定は重要である。

(3) CCR モデル

DEA では、各事業体を DMU (Decision Making Unit) と呼ぶ。事業体 j (DMU $_j$) の投入 (入力) データを $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ 、産出 (出力) データを $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ とし、事業体数を n とすると、入力データ行列 X と出力データ行列 Y は次のように表される。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & \cdots & y_{sn} \end{pmatrix} \quad (3)$$

次に、効率性を計算している事業体を記号 o とする。入力につけるウェイトを v_i ($i=1, \dots, m$)、出力につけるウェイトを u_r ($r=1, \dots, s$) とし、その値を次の分數計画問題を解くことによって定める。

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo}} \\ \text{s.t.} \quad & \frac{u_1 y_{1j} + \cdots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \cdots + v_m x_{mj}} \leq 1 \quad (j=1, \dots, n) \\ & v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0, \quad u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

制約式は、ウェイト v_i, u_r による仮想的入力と出力の比を全ての活動について 1 以下に押さえることを意味しており、その上で当該の活動の比率尺度 θ を最大化するような v_i, u_r を決める。この分數計画問題を解くためには、次の線形計画問題を考える。

$$\begin{aligned} \max \quad & u^T y_o \\ \text{s.t.} \quad & v^T x_o = 1 \\ & -v^T X + u^T Y \leq 0 \\ & v \geq 0, \quad u \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 v は入力のウェイトベクトルを、 u は出力のウェイトベクトルを表す。ここで分數計画問題 (式(4)) と線形計画問題 (式(5)) とは同値である。この線形計画問題は、実数 θ とベクトル $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$ を変数とする次の双対問題からも解が求められる。

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \theta x_o - X\lambda \geq 0 \\ & y_o - Y\lambda \leq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

式(5),(6)は、開発に携わった Charnes, Cooper, Rhodes の頭文字を取り、CCR モデルと呼ばれる。こ

のモデルでは、規模の経済性に関して収穫一定を仮定している。すなわち、事業体は各投入要素を 2 倍に増やすことで 2 倍の産出を得る。

以後、このモデルを使って各国の農業生産性の評価を行う。

(4) 各国農業の生産効率評価と農産物取引との関係

ここでは農業生産に伴う投入要素として土地、労働、エネルギーを考える。FAOSTAT より農地面積、農業就業人口のデータを、IEA の統計データ⁹⁾より農業部門でのエネルギー消費量データを得る。また産出データには、産業連関表中の各国の農業部門生産額を用いた。得られた CCR 効率値をまとめて表-4 に示す。アメリカ、シンガポールが最も効率的と判断され、次いで日本が 0.61 と高く、その他の国の効率値は低い。全般的に先進国での効率値が高いと言え、生産技術の差が存在している。

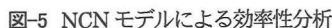
また、表-2 に示した農産物取引と見比べてみると、必ずしも効率性の高い国々が輸出国となっていないことがわかる。DEA の結果は生産技術のフロンティアを直接推計するので、適切な投入要素が選定されているならば、CCR 効率の大小は絶対優位性を示すであろう。その理論的帰結は表-2 等の実証結果と矛盾している。この原因としては、考慮すべき投入要素データの不足により生産効率が厳密に評価されていないこと、また制度的各要因等による自由貿易の妨げ、などが考えられる (これについては本論文の範疇を超える)。特に農業の場合、生産要素として土壌や気象などの自然条件についても考慮する必要がある。これらのことを分析するには、各国では細かいデータが得られないため、以降では日本の都道府県を対象とし、議論を進める。

表-4 各国農業の生産効率

インドネシア	0.22	中国	0.08
マレーシア	0.09	台湾	0.12
フィリピン	0.10	韓国	0.22
シンガポール	1.00	日本	0.61
タイ	0.08	アメリカ	1.00

4. 都道府県における農業生産性

先述したが、DEA は生産関数を用いた分析法と比べ少ないサンプル数で可能という利点がある。しかしここでは日本の都道府県を対象とするため、サンプル数も 40 以上と比較的多い。よって DEA に加え、生産関数分析を合わせて行うことで、生産性についてより詳細な議論を行うものとする。



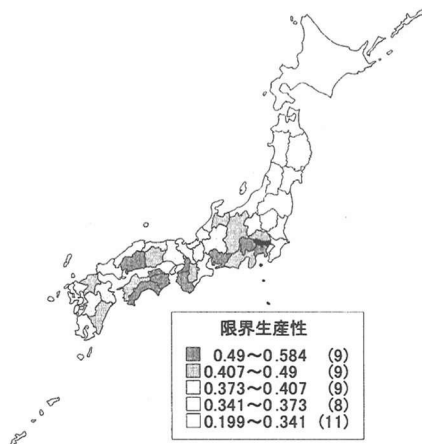


図-6 農地の限界生産性

$$Y = 1.97T^{0.299}L^{0.330}E^{0.370} \quad (10)$$

次に、各都道府県のデータを代入し、 $\partial Y / \partial T$ を計算することで各地の農地の限界生産性を得た。結果を図-6 に示す。農地の限界生産性は、北海道、東北地方など北方で低く、逆に南方で太平洋に面した地域で高くなっている。この要因の1つとして気象条件の生産性への影響が考えられる。そこで、実際に年間平均気温との関係を見てみる(図-7)。平均気温のデータは日本統計年鑑¹³⁾より得た。平均気温の高い地域で農地の限界生産性が高い傾向が見られ、 t 値も2.85であることから両者には正の相関があると言える。

また、農地の限界生産性が土地に起因する非効率(1-NCN 効率値)にどれほど影響しているかを見てみる(図-8)。農地の限界生産性の低い地域では、土地起因の非効率が大きくなっており、 t 値、 R^2 ともに高いことから、両者には強い相関があると言える。

(3) 土地の限界生産性と地価との関係

生産要素の限界生産性は、一般的にその要素価格に反映される。このことは、次に説明する利潤最大化問題に裏付けられる。

企業に代表される生産主体の行動は、利潤を最大化するように生産計画を選ぶという形で定式化できる。生産要素の投入量を x 、生産物の産出量を y とし、また、市場で与えられた生産物の価格を p 、生産要素の価格を w とすると、

$$\max_{(x,y) \in Y} py - wx \quad (11)$$

のように表される。ここで、式中の $(x,y) \in Y$ は投入、産出の関係が生産可能領域内であることを示す。この

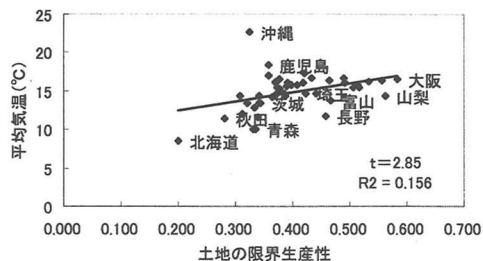


図-7 農地の限界生産性と平均気温との関係

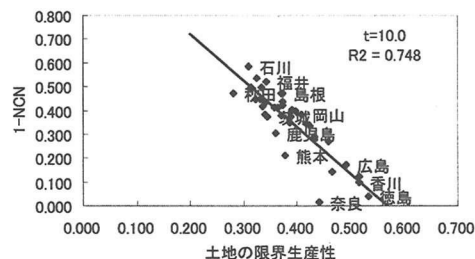


図-8 限界生産性と土地起因の非効率との関係

問題の最適解は、生産要素の限界生産性が要素の実質価格 w/p に等しくなる点で与えられる。

$$MP(x) = \frac{w}{p} \quad \text{または} \quad p \cdot MP(x) = w \quad (12)$$

よって、生産主体が利潤最大化に基づいた効率的な生産を行っているという仮定のもとでは、土地の限界生産性と地価との間には強い相関が見られると考えられる。

ここで、実際に各都道府県における農地の限界生産性と農地価格との関係を調べる。農地価格については、各都道府県の田と畑の価格データを日本統計年鑑から得てそれぞれの面積で加重平均を取ったものとする。また、比較のため工業用地を対象とした同様の分析を行う。工業用地の限界生産性についても式(9)、(10)から求めるが、その際投入データとしてエネルギーは農業と同じく産業連関表中より、敷地面積、従業員数については工業統計表¹⁴⁾より得る。工業用地の価格は、日本統計年鑑から得た都道府県での平均値である。両分析の結果を図-9、図-10 に示す。農地、工業用地とも、限界生産性の高い地域では地価が高いという傾向が見られる。 t 値、 R^2 を比較すると、いずれも工業用地での結果の方が高い。このことは国内農地の他の用途への転用に難があるなど、制度的な問題点を典型的に表しており、適切な農地価格の形成が妨げられていることが推察される。

農地価格と限界生産性とのギャップについて、1つの要因として気象条件の影響を考える。先ほど、平均

気温と農地の限界生産性との間には正の相関が見られた ($t=2.85$) のに対し、平均気温と農地価格との関係を見てみると、 t 値は 1.08 となり、両者の相関は低い (図-11)。このことから、平均気温による生産性への影響は農地価格に反映されにくいと言える。この他にも、降水量や土壌条件など、農業生産は自然条件に作用され、従って農地は工業用地などに比べ、環境財的な性格が強いと言える。述べたように、日本の農業においては、農地の転売制限や、補助金の投入など、外部的な規制や政策の影響を受けることが多いため、農地の正当な価格付けが阻害されている可能性もある。この点については定量的な評価を行うことは目下難しいと言わざるをえない。しかし、本研究で明確に示されたように、それ以外の要因としても価値評価として算定されにくい自然条件などが農業生産には大きく関

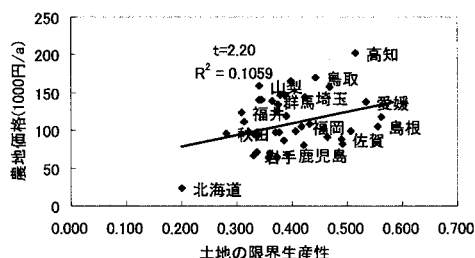


図-9 農地の限界生産性と農地価格との関係

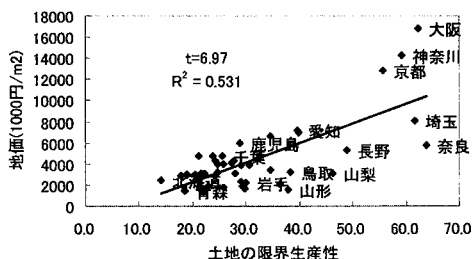


図-10 工業用地の限界生産性と地価との関係

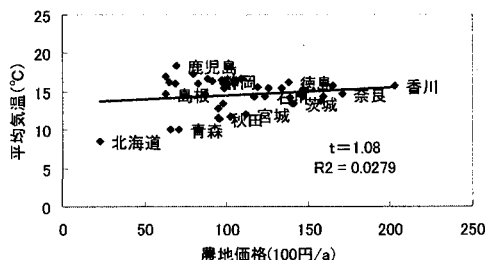


図-11 農地価格と平均気温との関係

わっている。それらは外部経済的に機能するため資源配分上の意味での効率性にも影響するであろう。また DEA 等の生産性分析をする際には、それらの項目を欠如した状態での結果は見せかけの Slack を顯示することになり、安易な判断は危険となる。

4 章での結果は、3 章の国際依存関係の分析結果について必要データ項目の欠落の警鐘をならすことになる。しかし、一方で地域の特性を個別に詳細に分析できる DEA の優位性は依然として残り、3 章の分析結果において得られた資源浪費型の国際分業実態の危惧を再検証する際にもなお有用性は高いと考えられる。

5. 結論

本研究では、量的な指標である EF を補完すべく、生産性に重点を置いた分析を行った。DEA を用いることで、各地の生産効率から農産物取引を評価すると共に、気象条件や農地価格との関係についても議論することができた。本研究で得られた知見を以下に示す。

- 1) 日本は海外の農地資源に大きく依存しており、アメリカ、中国を合わせただけでも 3000 万 ha 近くである。
- 2) 相対的に土地資源が豊富なアメリカ、中国、タイなどが農産物を輸出しているが、これらの国々は単位生産当りに投入する土地資源が多い傾向にあり、資源消費が拡大する方向で農産物取引が行われていると言える。
- 3) 農地の限界生産性の低い都道府県では、農地に起因する非効率が大きくなる傾向が窺える。また、農地の限界生産性が平均気温の影響を受ける。
- 4) 農地の限界生産性と農地価格とは、工業用地での結果に比べ強い相関は見られなかった。農地価格と平均気温の間にも相関がなかったことから、気象条件等の生産性への影響は農地価格に反映されにくいことがわかる。

本研究ではデータ制約を受ける場面が多々あった。まず産業連関表を用いたため、対象が農業部門全体となり、生産も金額ベースであった。食糧供給の観点から考えると、金額ではなく物量で生産を捉えることが望ましいし、農作物によって生産方法、適切な条件等も異なるため、より詳細な品目別で分析すべきである。また生産要素としては、土地、労働、エネルギーの 3 つを取り上げたに過ぎず、他にも農業機械、農業用水等などについて考慮する必要がある。このことは DEA 分析の結果に大きく影響を及ぼすため、極めて重要な課題と言える。またそれに合わせて、農地価格や気象条件との関係についても、より細かな地域を対象とし

て議論すべきである。

今回、生産性の観点から農産物取引に伴う土地資源への依存関係について評価するという試みを行い、一定の見解を得たが、上述の理由のため研究は未だ途上の段階にある。今後両者をより一体的に捉え、政策へ結び付けられるような指標化を行うことが、今後の課題として残される。

参考文献

- 1) Wackernagel, M., Onisto, L., Bello, P., Linares, A. C., Falfan, I. S. L., Garcia, J. M., Guerrero, A. I. S., Guerrero, M. G. S : National natural capital accounting with the ecological footprint concept, *Ecological Economics* 29(1999), pp.375-390, 1998
- 2) 芥川崇, 水野隆司, 松本亨, 藤倉良, 井村秀文 : 輸入農産物の国外環境負荷に関する研究, 第4回地球環境シンポジウム講演集, pp217-222, 1996
- 3) 福田篤史, 森杉雅史, 井村秀文 : 日本のエコロジカルフットプリント—土地資源に着目した環境指標に関する研究一, 環境システム研究 vol.29, pp.197-206, 2001
- 4) Institute of Developing Economies : Asian International Input-Output Table 1995, Jetro, 2001
- 5) 宮沢健一 : 産業連関分析入門, 日本経済新聞社, 1998
- 6) FAOSTAT: <http://apps.fao.org/default.html>
- 7) P. R. クルグマン, M. オブズフェルド : 国際経済 理論と政策 第3版 I 国際貿易, 新世社, 1996.
- 8) 刀根薫 : 経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による—, 日科技連出版社, 1993
- 9) IEA/OECD: Energy Balances of OECD Countries 1995-1996, OECD, 1998
- 10) IEA/OECD: Energy Balances and Statistics of non-OECD Countries 1995-1996, OECD, 1998
- 11) 農林水産省統計情報部: 第72次農林水産省統計表 (平成7年~8年), 農林統計協会, 1997
- 12) マクロエコノメトリックス研究会: 47都道府県地域産業連関表 (平成7年版), 東洋経済新報社, 2001
- 13) 総務庁統計局: 第46回日本統計年鑑, 日本統計協会, 1997
- 14) 通商産業大臣官房調査統計部: 平成7年 工業統計表 (用地・用水編), 大蔵省印刷局, 1997

RESEARCH ON ECO-EFFICIENCY SEEN FROM LAND USE AND AGRICULTURAL PRODUCTION

Atsushi FUKUDA, Eisuke NAKAMURA, Masafumi MORISUGI and Hidefumi IMURA

Each country is dependent on mutual farmland through agricultural-products trade. Although it is significant quantifying the degree of dependence to know the sustainability of life, it is also important to discuss the state of the dependency, and for that, it is necessary to take the agricultural productivity into consideration. In this paper, the agricultural productivity is analyzed by using DEA, and the status of agricultural-products trade on the viewpoint of productivity is evaluated. Moreover, the relationships between weather conditions, or farmland price and productivity are investigated, and the cause of inefficiency is considered.